

AN: PAT 1999-396274

TI: Method of operating a multicylinder internal combustion engine

PN: DE19855939-A1

PD: 24.06.1999

AB: NOVELTY - The method involves measuring the power produced by the respective cylinders during a test period which covers a set period of the combustion cycle, or in which the fuel injection period is fixed. The power produced by each cylinder is measured as a function of the torque, the cylinder pressure etc. DETAILED DESCRIPTION - The measured value is compared with a target value to produce a correction factor, either positive or negative. This correction factor is applied to the control program to ensure accurate fuel. The correction factors are updated periodically when the engine torque is constant.; USE - For operation of internal combustion engines. ADVANTAGE - Provides accurate fuel injection for small amounts of fuel e.g. for pre-injection in diesel engines, and reduces emission products.

PA: (FEVM-) FEV MOTORENTECHNIK GMBH & CO KG;

IN: CASE M; SHAMIS D;

FA: DE19855939-A1 24.06.1999; JP11280530-A 12.10.1999;

CO: DE; JP;

IC: F02D-041/30; F02D-041/38; F02D-045/00;

MC: X22-A02A; X22-A20C;

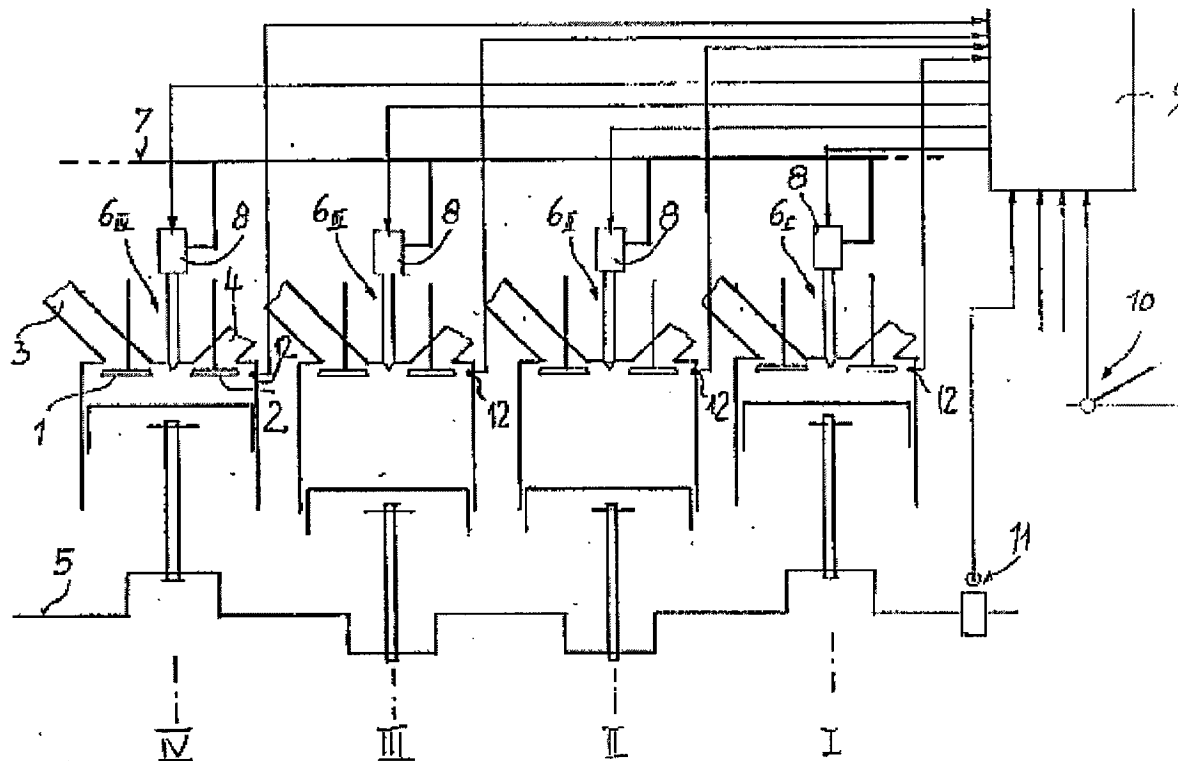
DC: Q52; X22;

FN: 1999396274.gif

PR: US0993408 18.12.1997;

FP: 24.06.1999

UP: 12.10.1999



2003 P 19541



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 55 939 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 02 D 41/30**

B6

⑳ Aktenzeichen: 198 55 939.9  
㉔ Anmeldetag: 4. 12. 98  
④③ Offenlegungstag: 24. 6. 99

DE 198 55 939 A 1

③① Unionspriorität:  
08/993,408 18. 12. 97 US

㉔ Anmelder:  
FEV Motorentechnik GmbH & Co. KG, 52078  
Aachen, DE

㉔④ Vertreter:  
Patentanwälte Maxton & Langmaack, 50968 Köln

㉔② Erfinder:  
Shamis, Dimitry, Auburn Hills, Mich., US; Case,  
Mark, Rochester, Mich., US

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Verfahren zum Betrieb einer Mehrzylinder-Kolbenbrennkraftmaschine mit Kraftstoffeinspritzung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Mehrzylinder-Kolbenbrenn-Kraftmaschine, die für jeden Zylinder mit einem ansteuerbaren Injektor für die Zufuhr des Kraftstoffs zum Zylinder versehen ist und die eine elektronische Motorsteuerung aufweist, über die die einzelnen Injektoren zur Zumessung der jeweils entsprechenden Betriebsbedingungen benötigten Kraftstoffmengen angesteuert werden, bei dem zur Vergleichmäßigung der von den Injektoren den einzelnen Zylindern zuzumessenden Kraftstoffmengen über einen vorgebbaren Zeitraum die Kurbelwellendrehzahl konstant gehalten und die Energieumsetzung je Zylinder erfaßt und einen vorgegebenen Mittelwert überschreitende oder unterschreitende Werte festgestellt und den einzelnen Zylindern zugeordnet werden und ferner jeweils bei festgestellten Überschreitungen die Einspritzzeit für den betreffenden Injektor verkürzt und bei festgestellten Unterschreitungen die Einspritzzeit für den betreffenden Injektor verlängert wird sowie die jeweiligen Verlängerungen und/oder Verkürzungen der Einspritzzeit vom Steuerprogramm der Motorsteuerung übernommen und für den normalen Betrieb bei allen Betriebsbedingungen berücksichtigt werden.

DE 198 55 939 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Mehrzylinder-Kolbenbrennkraftmaschine, die für jeden Zylinder mit einem ansteuerbaren Injektor für die Zufuhr des Kraftstoffs zum Zylinder versehen ist und die eine elektronische Motorsteuerung aufweist, über die die einzelnen Injektoren zur Zumessung der jeweils entsprechend den Betriebsbedingungen benötigten Kraftstoffmengen angesteuert werden.

Moderne Kolbenbrennkraftmaschinen werden in ihrer Arbeitsweise in vielfältiger Weise optimiert mit dem Ziel, die Abgasemissionen weitgehend zu reduzieren. Bei Kolbenbrennkraftmaschinen mit Kraftstoffeinspritzung, insbesondere bei Kolbenbrennkraftmaschinen, bei denen der Kraftstoff jeweils über einen Injektor direkt in den Zylinder eingespritzt wird, können nun über die modernen elektronischen Motorsteuerungen die Schaltzeiten an den Injektoren sehr genau gesteuert werden, so daß auch theoretisch sehr kurze Öffnungszeiten und damit auch sehr geringe Einspritzmengen möglich sein müßten. Diese Anforderung an sehr geringe Einspritzmengen besteht insbesondere bei Dieselmotoren mit sogenannter Voreinspritzung, bei denen für den jeweiligen Arbeitstakt zunächst eine sehr geringe Kraftstoffmenge von beispielsweise  $1,5 \text{ mm}^3$  in den Zylinder eingespritzt wird und dann kurzzeitig danach die für die jeweiligen Lastanforderung notwendige größere Einspritzmenge in den Zylinder eingespritzt wird, so daß der gewünschte bessere Zündverlauf und der verbesserte Brennverlauf und damit eine Reduzierung von Geräusch- und Abgasemission erreicht wird. Aber auch bei Ottomotoren mit Direkteinspritzung des Kraftstoffs besteht inzwischen die Notwendigkeit, geringe Kraftstoffmengen nachzuspritzen, um die Betriebsbedingungen für die nachgeschalteten Abgasbehandlungseinrichtungen zu verbessern.

Die Injektoren zur Kraftstoffeinspritzung bestehen im wesentlichen aus einem Trägerkörper, der eine Düse mit wenigstens einer Düsenöffnung aufweist, die über eine im Trägerkörper verschiebbar geführte Düsennadel verschließbar ist. Die Düsennadel steht mit einem ansteuerbaren Aktuator in Verbindung, der über die Motorsteuerung angesteuert werden kann und bei Aktivierung die Düsennadel zurückzieht, so daß die Düsenöffnung freigegeben wird. Wird der Aktuator deaktiviert, dann bewegt sich die Düsennadel im wesentlichen unter der Kraftwirkung einer Rückstellfeder in ihre Schließstellung zurück, wobei hier je nach Bauart des Injektors auch der am Injektor über die Kraftstoffzufuhrleitung anstehende Kraftstoffdruck in Schließrichtung wirksam sein kann. Theoretisch ist die vom Injektor eingespritzte Kraftstoffmenge bei konstantem Hochdruck im Kraftstoffverteilersystem (common-rail) direkt proportional zur Öffnungszeit.

Wie aus der vorstehenden Beschreibung zu entnehmen ist, ist ein derartiger Injektor ein komplexes Gebilde mit einer Vielzahl von bewegbaren Elementen, so daß bei einer industriellen Massenherstellung verhältnismäßig große Herstellungstoleranzen in Kauf genommen werden müssen. Dies hat jedoch zur Folge, daß bei den gewünschten sehr geringen Einspritzmengen schon geringe Differenzen in der Toleranz zu Abweichungen in der tatsächlich eingespritzten Menge von bis zu 75% auftreten. Damit wird die über die elektronische Motorsteuerung theoretisch mögliche Genauigkeit in der Kraftstoffzumessung in der Praxis nicht verwirklicht, mit der Konsequenz, daß an einer Mehrzylinder-Kolbenbrennkraftmaschine der Ist-Wert der jeweils in einen Zylinder tatsächlich eingespritzten Kraftstoffmenge in erheblichem Maße durch den von der Motorsteuerung vorgegebenen Soll-Wert abweichen kann. Selbst wenn man nun

bei der Herstellung durch ein aufwendiges Prüf- und Auswahlverfahren jeweils Injektoren mit identischen Toleranzabweichungen zusammenstellen würde, wären die vorstehend geschilderten Probleme nicht behoben, da im Laufe des Betriebes durch die Betriebsbedingungen, beispielsweise durch unterschiedlichen Verschleiß, sich das Einspritzverhalten einzelner Injektoren an einem Motor ändern kann.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das es ermöglicht, bei Mehrzylinder-Kolbenbrennkraftmaschinen jeweils bei allen Zylindern für den jeweiligen Betriebsfall praktisch gleiche Kraftstoffmengen einzuspritzen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Vergleichmäßigung der von den Injektoren den einzelnen Zylindern zuzumessenden Kraftstoffmengen über einen vorgebbaren Zeitraum die Kurbelwellendrehzahl konstant gehalten und die Energieumsetzung je Zylinder erfaßt und einen vorgegebenen Mittelwert überschreitende oder unterschreitende Werte festgestellt und den einzelnen Zylindern zugeordnet werden, und daß jeweils bei festgestellten Überschreitungen die Einspritzzeit für den betreffenden Injektor verkürzt und bei festgestellten Unterschreitungen die Einspritzzeit für den betreffenden Injektor verlängert wird, und daß die jeweilige Verlängerung und/oder Verkürzung der Einspritzzeit vom Steuerprogramm der Motorsteuerung übernommen und für den normalen Betrieb bei allen Betriebsbedingungen berücksichtigt wird. Mit dieser Verfahrensweise ist es möglich, nicht nur bei der Endabnahme einer Kolbenbrennkraftmaschine sondern auch in vorgebbaren Zeitintervallen die Funktion der Injektoren an der Kolbenbrennkraftmaschine zu überprüfen und zwischenzeitlich aufgetretene Abweichungen auszukorrigieren. Wird bei der Messung nach diesem Verfahren an einem Zylinder beispielsweise eine Überschreitung von 10% des Mittelwertes festgestellt, so kann die Einspritzzeit im betreffenden Injektor soweit verkürzt werden, daß der vorgegebene Mittelwert auch bei diesem Injektor erzielt wird. Diese Verkürzung der Öffnungszeit des Injektors gilt dann im späteren variablen Betrieb für alle Öffnungsvorgänge des betreffenden Injektors, so daß davon ausgegangen werden kann, daß auch im Betrieb durch eine nun diesen Wert verkürzte Öffnungszeit der notwendige Toleranzausgleich bewirkt wird. Die Verkürzung bzw. Verlängerung der Öffnungszeit wird jeweils über ein früheres oder späteres Schließen des Injektors bewirkt, da der Öffnungszeitpunkt über die Betriebsbedingungen von der Motorsteuerung als übergeordneter Steuerwert vorgegeben ist.

Besonders vorteilhaft ist das erfindungsgemäße Verfahren für Dieselmotoren mit Voreinspritzung, da bei der Voreinspritzung eine zum Beispiel konstante Kraftstoffmenge in den Zylinder eingespritzt wird, unabhängig davon, welche Kraftstoffmenge danach dann entsprechend der Lastanforderung über die Motorsteuerung dem Zylinder zugeführt wird.

Auf bei Nacheinspritzung ist es notwendig, in jeden Zylinder die gleiche Kraftstoffmenge einzuspritzen, um für jeden Zylinder sicherzustellen, daß er nicht aus den vorgegebenen Mengen- und Zeitkriterien herausfällt.

Bei diesem Verfahren wird mit Vorteil ausgenutzt, daß unterschiedliche Kraftstoffmengen in den einzelnen Zylindern sich über eine stärkere oder geringere Energieumsetzung bemerkbar machen, die auch am Motor unmittelbar erfaßt werden kann. In einer ersten Ausgestaltung ist hierbei vorgesehen, daß die Energieumsetzung über eine Drehzahlmessung an der Kurbelwelle erfaßt wird. Auch wenn eine Kolbenbrennkraftmaschine mit konstanter Kurbelwellendrehzahl betrieben wird, so ergeben sich jedoch als Erfolge

der aufeinanderfolgenden Arbeitstakte der einzelnen Zylinder Drehzahlschwankungen. Ist die Energieumsetzung in allen Zylindern gleich, dann sind auch die Drehzahlschwankungen konstant. Wird jedoch in einem Zylinder infolge einer erhöhten Kraftstoffeinspritzung mehr Energie umgesetzt und/oder in einem der Zylinder infolge verminderter Kraftstoffeinspritzung weniger Energie umgesetzt, obwohl beide Injektoren über die Motorsteuerung mit der gleichen Öffnungszeit angesteuert werden, dann macht sich diese entsprechend stärkere oder schwächere Energieumsetzung in Form einer periodischen Abweichung der normalen Drehzahlschwankung bemerkbar. Aufgrund der Zündfolge kann diese Abweichung von der normalen Drehzahlschwankung auch dem jeweiligen Zylinder zugeordnet werden. Wird nun über eine Veränderung der Öffnungszeit des oder der betreffenden Injektoren die Einspritzzeit bei einer erhöhten Energieumsetzung verkürzt und bei einer verminderten Energieumsetzung jeweils so erhöht, das wieder eine gleiche Energieumsetzung bei allen Zylindern feststellbar ist, dann kann diese Veränderung der Öffnungszeiten der betreffenden Injektoren der Motorsteuerung vorgegeben werden, so daß diese Veränderung dann im späteren Betrieb bei der Betätigung des betreffenden Injektor berücksichtigt wird.

In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Energieumsetzung über eine Drehmomentmessung an der Kurbelwelle erfaßt wird. Ebenso wie bei der vorstehend beschriebenen Ursache für Schwankungen in der Drehzahl, treten entsprechend auch Schwankungen im Drehmoment an der Kurbelwelle auf, so daß bei einer Abweichung in der Energieumsetzung in einem oder mehreren Zylindern signifikante Abweichungen im Drehmomentverlauf erkennbar werden.

Während bei den beiden vorbeschriebenen Ausgestaltungen des Verfahrens die Energieumsetzungen über die Kurbelwellendrehzahl und die Zündfolge den einzelnen Zylindern zugeordnet werden muß, kann in einer anderen Ausgestaltung der Erfindung die Energieumsetzung über eine Druckmessung an den einzelnen Zylindern erfaßt werden. Weisen alle Zylinder jeweils bei ihrem Arbeitstakt den gleichen Druckverlauf auf, dann ist auch allen Zylindern die gleiche Kraftstoffmenge zugemessen worden. Ergeben sich Abweichungen im Druckverlauf, dann kann davon ausgegangen werden, daß hier entsprechend zu viel oder zu wenig Kraftstoff zugeführt worden ist.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und seinen Ausgestaltungen ist es zweckmäßig, während der Zeit der Erfassung der Energieumsetzung die Kolbenbrennkraftmaschine unter konstanter Last zu betreiben. Hierbei reicht die "Leerlaufast" aber auch ein beliebig ausgewählter Lastpunkt aus, wobei es zweckmäßig ist, daß die Kolbenbrennkraftmaschine während des kurzen Drehzahlschwankungs-Erfassungszeitraumes ohne Drehzahländerung betrieben wird. Da die Zeit zur Einspritzmengenkorrektur kurz ist, im Vergleich zu Drehzahländerungen im normalen Fahrbetrieb, zum Beispiel auf Landstraßen und Autobahnen, kann die Korrektur bei stehenden wie auch bei bewegten Fahrzeugen erfolgen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist, wie eingangs erwähnt, bevorzugt für Kolbenbrennkraftmaschinen vorgesehen, bei denen der Kraftstoff über jeweils einen Injektor direkt in einen Zylinder eingespritzt wird, insbesondere für Dieselmotoren. Das Verfahren kann aber auch für Kolbenbrennkraftmaschinen angewendet werden, bei denen der Kraftstoff jeweils über einen Injektor in den Gaseinlaßkanal des jeweiligen Zylinders eingespritzt wird. Hierbei müssen jedoch noch die für die Einspritzung in den Einlaßkanal bedeutsamen Rahmenbedingungen mit berücksichtigt werden, so daß es beispielsweise notwendig ist, die Erfassung der Energieumsetzung und die daraus abgeleitete Korrektur der

Einspritzzeit des Injektors bei betriebswarmen Motor vorzunehmen, um so Fehlmessungen durch Kraftstoffmengen, die sich an den Wandungen des Einlaßkanals niederschlagen, weitgehend zu vermeiden.

Das Verfahren wird anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch einen Viertakt-Vierzylinder-Motor,

Fig. 2 den Drehmomentenverlauf bei identischer Energieumsetzung in jedem Zylinder,

Fig. 3 den Drehmomentenverlauf mit abweichender Energieumsetzung in einem Zylinder.

In Fig. 1 ist schematisch ein Viertakt-Vierzylinder-Motor mit seinen Zylindern I, II, III, IV dargestellt. Die einzelnen Zylinder weisen jeweils ein Gaseinlaßventil 1 und ein Gasauslaßventil 2 auf, wobei die beiden Gaswechselventile 1, 2 jeweils über einen Antrieb, beispielsweise eine Nockenwelle oder auch einen elektromagnetischen Aktuator betätigbar sind. Das Gaseinlaßventil 1 verschließt einen Gaseinlaßkanal 3, das Gasauslaßventil 2 verschließt hierbei einen Gasauslaßkanal 4. Die Nockenwelle zur Betätigung der Gaswechselventile 1, 2 wird in üblicher Weise von der Kurbelwelle 5 und in Abhängigkeit von der Kurbelwellendrehzahl angetrieben.

Jeder Zylinder ist mit einem Injektor 6 versehen, der mit einer Kraftstoffversorgung in Verbindung steht. Die Kraftstoffversorgung ist vorzugsweise als common-rail-System ausgebildet, das hier durch eine Verteilerleitung 7 dargestellt ist, in der der Kraftstoff über eine nicht näher dargestellte Pumpe unter Druck vorgehalten ist. Von der Verteilerleitung 7 zweigen jeweils entsprechende Zweigleitungen zu den einzelnen Injektoren 6 ab.

Die Injektoren 6 sind mit einem steuerbaren Stellantrieb 8 versehen, beispielsweise in Form eines magnetischen oder piezoelektrischen Aktuators, der über eine Motorsteuerung 9 ansteuerbar ist, so daß entsprechend der gewünschten Lastvorgabe, die beispielsweise über ein Gaspedal 10 vorgegeben wird, die Injektoren 6 über einen durch die Motorsteuerung 9 vorgegebenen Zeitraum geöffnet werden und somit eine der Auslegung des Injektors 6 entsprechende Kraftstoffmenge zum jeweiligen Arbeitstakt in den entsprechenden Zylinder eingespritzt wird.

Die Motorsteuerung 9 erhält, wie bei modernen elektronischen Motorsteuerungen üblich, auch weitere, für den Betrieb erforderliche Daten, so beispielsweise die Drehzahl, das abgegebene Drehmoment, die Kühlwassertemperatur und weitere, für eine optimale Steuerung und Regelung des Betriebsablaufs erforderliche Werte. Über einen entsprechenden Geber 11 wird die jeweilige Kurbelwellendrehzahl der Motorsteuerung 9 zugeführt. Über den Drehzahlgeber 11 kann zugleich auch die Kurbelstellung und damit die Kolbenstellung zumindest eines Zylinders vorgegeben werden, so daß eine zeitgenaue, drehzahl-proportionale Ansteuerung der Aktuatoren 8 der Injektoren 6 erfolgt. Bei elektrisch betätigbaren Aktuatoren 8 an den Injektoren 6 ist es möglich den Öffnungszeitpunkt und den Schließzeitpunkt sowie die Öffnungsdauer, aber auch die Öffnungshäufigkeit während eines Arbeitstaktes frei anzusteuern. Die Motorsteuerung 9 ist hierbei so ausgelegt, daß sie hinsichtlich der erforderlichen Daten für die Betätigung der Injektoren 6 an den einzelnen Zylindern in ihrer Programmvorgabe veränderbar ist, so daß nicht nur die sich betriebsabhängig ändernden Vorgaben zur Ansteuerung der einzelnen Injektoren 6 verändert werden können, sondern auch die Grundeinstellung veränderbar ist.

Geht man von der Annahme aus, daß alle Injektoren 6, bis 6IV in Aufbau, Toleranz, Funktionsweise identisch sind, dann werden bei gleichen Öffnungs- und Schließzeiten auch gleiche Kraftstoffmengen in den jeweiligen Zylinder einge-

spritzt. Das hat zur Folge, daß bei einer Lastvorgabe, mit der eine konstante Drehzahl eingehalten wird, in jedem der einzelnen Zylinder I bis IV die gleiche Energieumsetzung erfolgen muß. Dies führt notwendigerweise dazu, daß die durch die Zündfolge der einzelnen Zylinder vorgegebene Ungleichförmigkeit, d. h. die Drehzahlschwankungen um den Mittelwert  $n_m$  in der Schwankungsbreite konstant bleiben, so wie dies in Fig. 2 dargestellt ist. Bei einer vorgegebenen Zündfolge I-III-IV-II läßt sich dann jeweils die geringfügige Drehzahlerhöhung gegenüber dem Mittelwert  $n_m$  innerhalb der Schwankungsbreite dem Arbeitstakt des jeweils befeuerten Zylinders zuordnen. Bei konstanter Energieumsetzung ergibt sich eine gleichförmige Schwankungsbreite um den von der Motorsteuerung vorgegebenen Mittelwert  $n_m$ .

Da jedoch, wie eingangs ausführlich dargelegt, aufgrund von Fertigungstoleranzen die einzelnen Injektoren unterschiedliche Kraftstoffmengen innerhalb der von der Motorsteuerung 9 vorgegebenen Öffnungsdauer in den Zylinder abgeben, erfolgt dementsprechend auch eine unterschiedliche Energieumsetzung in den einzelnen Zylindern, die dann zwangsläufig zu Abweichungen in den Drehzahlschwankungen um die mittlere Drehzahl  $n_m$  führen.

Geht man zur Vereinfachung der Darstellung davon aus, daß die Injektoren 6<sub>I</sub>, 6<sub>II</sub> und 6<sub>IV</sub> in ihren Toleranzen absolut identisch sind, und lediglich der Injektor 6<sub>III</sub> Abweichungen aufweist, die im Vergleich zu den übrigen Injektoren bei gleicher Öffnungsdauer zur Einspritzung einer größeren Kraftstoffmenge führt, dann ergibt sich die in Fig. 3 dargestellte Abweichung vom Drehmomentenverlauf. Die dem Zylinder III zuzuordnende positive Drehmomenterhöhung liegt dann höher als die Drehmomenterhöhungen der übrigen Zylinder, da infolge der erhöhten Kraftstoffmenge auch eine erhöhte Energieumsetzung erfolgt, die zwangsläufig zu einer Drehmomenterhöhung während des Arbeitstaktes des Zylinders III führt.

Würde über den Injektor 6<sub>III</sub> eine im Vergleich zu den anderen Injektoren geringere Kraftstoffmenge eingespritzt, dann würde dementsprechend eine geringere Energieumsetzung erfolgen, die ebenfalls zu einer gegenüber den anderen Zylindern geringeren Drehmomenterhöhung führen würde.

Ist nun über die Motorsteuerung 9 der Betrieb auf eine konstante Drehzahl  $n_m$  eingestellt, und wird hierbei die in Fig. 3 dargestellte, dem Zylinder III zuzuordnende Drehzahlüberhöhung festgestellt, dann wird über die Motorsteuerung 9, die für einen derartigen Meßlauf mit einem entsprechenden Programm zur Erfassung der Abweichungen in den Energieumsetzungen, hier zur Erfassung der Drehzahlabweichungen, ausgestattet ist, am Einspritzventil 6<sub>III</sub> die Öffnungszeit solange verkürzt, bis auch für den Zylinder III die in Fig. 2 dargestellte Ungleichförmigkeit vorhanden ist. Diese Verkürzung der Öffnungsdauer wird im Steuerprogramm der Motorsteuerung 9 "abgelegt", so daß im späteren Betrieb das Einspritzventil 6<sub>III</sub> immer entsprechend verkürzt geöffnet wird.

Besonders zweckmäßig ist die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens an einem Dieselmotor mit Zündstrahl- bzw. Piloteinspritzung. Bei diesem Zündverfahren wird für jeden Arbeitstakt vorlaufend zunächst eine sehr geringe, aber konstante Kraftstoffmenge in den jeweils zu feuernden Zylinder eingespritzt und danach dann die über die Lastvorgabe eine größere Einspritzmenge eingespritzt. Auch hier machen sich Mengenabweichungen in der Voreinspritzmenge bei der Erfassung der Energieumsetzung in der vorbeschriebenen Weise bemerkbar, so daß in gleicher Weise in einem Meßlauf nach dem vorbeschriebenen Verfahren die Motorsteuerung 9 für den jeweiligen Injektor hinsichtlich der Öffnungsdauer der Voreinspritzung entspre-

chend korrigiert werden kann.

Bei einem Otto-Motor mit Direkteinspritzung kann beispielsweise zur Verbesserung der Kaltstartbedingungen für die eingesetzten Katalysatorsysteme zur Abgasbehandlung nach dem Einspritzen der durch die Lastvorgabe bemessene großen Einspritzmenge noch eine geringe Kraftstoffmenge nachgespritzt werden, um eine entsprechende Erhöhung der Abgastemperatur zu erreichen.

Anstatt oder zusätzlich zu der Erfassung der Energieumsetzung über die Ungleichförmigkeit der Kurbelwellendrehzahl läßt sich die Energieumsetzung auch über eine Drehmomentmessung an der Kurbelwelle erfassen. Der Verlauf des Drehmomentes entspricht im wesentlichen dem anhand von Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Verlauf der Drehzahl.

Rüstet man die einzelnen Zylinder mit Drucksensoren 12 aus, über die der Druckverlauf im Zylinderinnenraum jeweils erfaßt werden kann, dann läßt sich die Energieumsetzung in den einzelnen Zylindern sehr genau feststellen und eine Veränderung der Einspritzdauer der Injektoren 6 noch genauer vornehmen. Die Erfassung der Energieumsetzung über Drucksensoren dürfte sich insbesondere als zweckmäßig erweisen für Dieselmotoren mit Einspritzung eines Zündstrahls, da aus dem Druckverlauf bereits die Energieumsetzung der über den Zündstrahl eingeführten Kraftstoffmenge feststellbar ist.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Mehrzylinder-Kolbenbrennkraftmaschine, die für jeden Zylinder mit einem ansteuerbaren Injektor für die Zufuhr des Kraftstoffs zum Zylinder versehen ist und die eine elektronische Motorsteuerung aufweist, über die die einzelnen Injektoren zur Zumessung der jeweils entsprechenden Betriebsbedingungen benötigten Kraftstoffmengen angesteuert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Vergleichmäßigung der von den Injektoren den einzelnen Zylindern zuzumessenden Kraftstoffmengen über einen vorgebbaren Zeitraum die Kurbelwellendrehzahl konstant gehalten und die Energieumsetzung je Zylinder erfaßt und einen vorgegebenen Mittelwert überschreitende oder unterschreitende Werte festgestellt und den einzelnen Zylindern zugeordnet werden und daß jeweils bei festgestellten Überschreitungen die Einspritzzeit für den betreffenden Injektor verkürzt und bei festgestellten Unterschreitungen die Einspritzzeit für den betreffenden Injektor verlängert wird und daß die jeweiligen Verlängerungen und/oder Verkürzungen der Einspritzzeit vom Steuerprogramm der Motorsteuerung übernommen und für den normalen Betrieb bei allen Betriebsbedingungen berücksichtigt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Energieumsetzung über eine Drehzahlmessung an der Kurbelwelle erfaßt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Energieumsetzung über eine Drehmomentmessung der Kurbelwelle erfaßt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Energieumsetzung über eine Druckmessung an den einzelnen Zylindern erfaßt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß während der Zeit der Erfassung der Energieumsetzung die Kolbenbrennkraftmaschine unter konstanter Last betrieben wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß während der Zeit der Erfassung der Energieumsetzung die Kolbenbrennkraftmaschine mit konstanter Drehzahl betrieben wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer als Fahrzeugantrieb dienenden Kolbenbrennkraftmaschine die Erfassung bei stehendem Fahrzeug vorgenommen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer als Fahrzeugantrieb dienenden Kolbenbrennkraftmaschine die Erfassung bei Konstant-Fahrt im Fahrbetrieb vorgenommen wird.

10

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

